

Tartu Ülikool  
Loodus- ja täppisteaduste valdkond  
Ökoloogia ja maateaduste instituut  
Keskkonnatehnoloogia õppekava

Annika Velt

**NCEP-CFSR JÄRELANALÜÜSIMUDELI KIIRGUSPARAMEETRITE  
VALIDEERIMINE TÕRAVERE MÕÕTMISANDMETEGA**

Bakalaureusetöö

12 EAP

Juhendaja: PhD Erko Jakobson

Tartu 2016

## **NCEP-CFSR järelanalüüsimudeli kiirgusparameetrite valideerimine Tõravere mõõtmisandmetega**

Atmosfääri järelanalüüsimumudeleid kasutatakse järjest laialdasemalt erinevate ilma- ja kliimaparameetrite analüüsimiseks. Tulemuste interpreteerimisel on aga väga oluline teada kasutatava mudeli täpsushinnangut. Käesoleva töö eesmärk oli valideerida NCEP-CFSR järelanalüüsi mudeli atmosfääri ja maapinna pikalainelise kiirguse ning maapinna temperatuuri väärtuste vastavust Tõravere meteorijaamas mõõdetud tulemustega. Pikalainelist kiirgust on Eestis mõõdetud alates aastast 2003. Töös on uuritud mudeli kõrvalekaldeid mõõdetud väärtustest ning välja on toodud ka ruutkeskmised vead. Selgus, et mudel alahindab suurema osa ajast maapinna temperatuuri väärtust, mis on tõenäoliselt üheks põhjuseks pikalainelise kiirguse vigade tekkimisel. Lisaks on mudeli parameetrite määramisel ilmselt kasutatud soojematele regioonide jaoks optimeeritud algoritme, mis Eesti talvistes tingimustes hästi ei tööta.

Märksõnad: NCEP-CFSR, pikalaineline kiirgus, mudeli valideerimine, Tõravere

CERCS kood: P500 Geofüüsika, füüsikaline okeanograafia, meteoroloogia

## **Validation of NCEP-CFSR radiation parameters using Tõravere measurements data**

Atmospheric reanalysis models are being used increasingly widely to analyse various weather and climate parameters. However, it is very important to know the accuracy of the model when interpreting the results. The aim of this study was to validate the NCEP-CFSR reanalyse model downwelling and upwelling longwave radiation and surface temperature with measurements from the Tõravere meteorostation. Longwave radiation is measured in Estonia since 2003. In this study the biases and root mean square errors between measured and model values have been calculated. Turns out, the model underestimates the surface temperature most of the time, which can be the source of the errors. In addition, it is possible that algorithms for warmer regions are used to set the model parameters, which are not suitable for Estonian winter conditions and will produce large errors.

Keywords: NCEP-CFSR, longwave radiation, validation of the model, Tõravere

CERCS code: P500 Geophysics, physical oceanography, meteorology

## SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	4
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....	5
1.1. Kiirgusparameetrite ülevaade .....	5
1.1.1. Atmosfääri pikalaineline kiirgus .....	6
1.1.2. Maapinna pikalaineline kiirgus .....	6
1.2. Atmosfääri järelanalüüsi mudelid.....	6
1.2.1. NCEP-CFSR järelanalüüsi mudel.....	7
2. ANDMED JA METOODIKA.....	9
2.1. Asukoha kirjeldus .....	9
2.2. Andmete kirjeldus.....	9
2.3. Metoodika.....	10
3. TULEMUSED JA ARUTELU.....	11
3.1. Kiirguse karakteristikud .....	11
3.2. Mudeli valideerimine.....	13
3.2.1. Atmosfääri pikalaineline kiirgus.....	14
3.2.2. Maapinna pikalaineline kiirgus.....	16
3.2.3. Temperatuur .....	17
3.2.4. Süstemaatiliste vigade analüüs .....	19
KOKKUVÕTE.....	23
SUMMARY .....	24
KASUTATUD KIRJANDUS .....	25
LISAD .....	27
Lihtlitsents.....	28

## SISSEJUHATUS

Tänapäeval kasutatakse järjest enam ilma- ja kliimaparameetrite analüüsimiseks erinevaid järelanalüüsi mudeleid, kuna need on ajaliselt ja ruumiliselt homogeenised ning seovad endas olemasolevad mõõtmisandmed ning mudelarvutused. Kuna aga nii mõõtmisandmete ajaline ja ruumiline lahutus kui ka arvutusmudel pole ideaalsed, ei vasta järelanalüüsi mudeli tulemused täpselt tegelikkusele. Analüüsi tulemuste interpreteerimisel on aga väga oluline teada kasutatava mudeli täpsushinnangut.

Päikesekiirgus on kõige olulisem energiaallikas Maa-atmosfäär süsteemis. Ilma selleta puuduks Maal elu. Et mõista ja ennustada kliimamuutusi, on vaja võimalikult täpselt hinnata Maale jõudva ning siit lahkuva kiirguse väärtusi. Juba väike viga mõne kiirgusparameetri arvutamisel võib tuua kaasa põhimõttelised vead kliima modelleerimise lõpptulemustes.

Kiirguse mõõtmise vahendid on aastate jooksu muutunud täpsemaks, kuna maapealsetele mõõtmistele on lisandunud satelliidimõõtmised. Ka ilnamudelid lähevad täpsemaks, kasutades järjest keerukamaid algoritme mõõtmisandmete assimileerimiseks ning parandades mudelite resolutsiooni. Samas on endiselt keeruline arvestada korraga kõiki kiirgust mõjutavaid faktoreid. Näiteks pilvede optilised omadused ja aerosoolide kontsentratsioon muutuvad ajas ja ruumis pidevalt. Need aga mõjutavad kiirguse hajumist ja seega ka maapinnale jõudva kiirguse hulka (Hou, 2002).

Käesoleva töö eesmärk on valideerida NCEP-CFSR järelanalüüsimudeli atmosfääri ja maapinna pikalainelise kiirguse ning maapinna temperatuuri väärtuste vastavust Tõravere meteojaamas mõõdetud tulemustega.

# 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

## 1.1. Kiirgusparameetrite ülevaade

Maapinnani jõudev päikesekiirguse hulk muutub nii ajas kui ruumis. Muutused võib jagada kaheks: perioodilised ja juhuslikud muutused. Perioodilised muutused on tingitud kellaajast, Päikese käändest ning asukohast. Juhuslikke muutusi põhjustavad enim pilved (liik, kogus, paiknemine). Mõjutajateks on lisaks veel atmosfääri läbipaistvus ja aluspinna optilised omadused (Russak ja Kallis, 2003).

Kiirgus jagatakse lainepikkuse alusel lühi- ja pikalaineliseks. Lühilaineline kiirgus jääb vahemikku 0,2–4  $\mu\text{m}$  ning pikalaineline 4–100  $\mu\text{m}$ . Päikesekiirgus loetakse lühilaineliseks (Russak ja Kallis, 2003).

Eestis on päikesekiirgust järjepidevalt mõõdetud alates 1950ndatest, kuid pikalainelise kiirguse mõõtmisi on teostatud vaid umbes viimased 10 aastat. Kuna infrapunakiirguse muutlikus aastate lõikes on üsna väike, võib siiaamaani kogutud andmete põhjal juba välja tuua Eestile iseloomulikke jooni. Näiteks langeb aastas atmosfääri pikalainelist kiirgust maapinnale keskmiselt kolm korda rohkem kui päikesekiirgust. See vahekord muutub koos aastaaegadega, sest see oleneb Päikese kõrgusest, päeva pikkusest ja pilvisusest. Suvel erinevad Päikese ja atmosfääri vastukiirguse summad vähe, kuid talvekuudel väheneb Päikese vastukiirguse hulk tunduvalt ja moodustab siis vaid paar protsenti kogu kiirgusest. Aluspinnalt lahkuvas kiirguses on maapinna pikalainelise kiirguse suhteline osa veelgi suurem, ulatudes aastasummas keskmiselt 92%ni (Russak ja Niklus, 2015).

Eestis on atmosfääri pikalainelist kiirgust mõõdetud alates 2003ndast aastast ning maapinna pikalainelist kiirgust alates 2006nda aasta juulist. Mõõtmised toimuvad murusel pinnasel kahe meetri kõrgusel maapinnast Tartu-Tõraverre meteojaamas, mis on üks vähestest jaamadest Põhja-Euroopas, kus mõõdetakse pikalainelist kiirgust (Russak ja Niklus, 2015).

### **1.1.1. Atmosfääri pikalaineline kiirgus**

Maapinnani jõudva atmosfääri pikalaineline kiirguse hulk sõltub rohkem pilvedest ja atmosfääris olevast veeaurust kui temperatuurist (Lindsay *et al.*, 2014). Eestis on aastane keskmine atmosfääri pikalainelise kiirguse kogusuma  $9808 \text{ MJ/m}^2$  (perioodil 2003–2012) (Russak ja Niklus, 2015). Ööpäevane käik on atmosfääri pikalainelise kiirguse puhul väike, see tähendab, et 24 tunni jooksul muutuvad tunnikeskmsed väärtused vähe. Talvel erinevus eri kellaaegade vahel põhimõtteliselt puudub (Russak ja Niklus, 2015).

### **1.1.2. Maapinna pikalaineline kiirgus**

Maapinna ehk aluspinna pikalaineline kiirgus sõltub kõige enam maapinna temperatuurist ning aluspinnast. Ööpäevane käik on talvel marginaalne. Samas suvel, kui aluspinna temperatuur võib muutuda keskmiselt  $15^\circ\text{C}$  ööpäevas, võivad ka muutused maapinna pikalainelise kiirguses kesköö ja keskpäeva vahel olla ligi 20%. Eesti aasta keskmine maapinna pikalainelise kiirguse kogusumma perioodil 2007–2012 oli  $11071 \text{ MJ/m}^2$  (Russak ja Niklus, 2015).

## **1.2. Atmosfääri järelanalüüsi mudelid**

Kui operatiivsed mudelid ennustavad ilma, siis järelanalüüsimudelid modelleerivad ilma tagantjäre. Peamiseks erinevuseks on, et kui operatiivseid mudeleid pidevalt korrigeeritakse ja parandatakse, siis järelanalüüsi puhul kasutatakse kogu ajaperioodi kohta samasid mudeli seadistusi. See aitab vältida mudeli parameetrite muutusest tingitud kunstlikke süstemaatilisi efekte. Nende vältimine on eriti oluline kliima trendide hindamises.

Hetkel on uuemad globaalse ulatusega atmosfääri järelanalüüsimudelid USA Riikliku Keskkonnaennustuse Keskuse (NCEP) mudel CFSR, Euroopa Keskulatusega Ilmaennustuse Keskuse (ECMWF) mudel ERA-Interim, NASA loodud MERRA-2 ning Jaapani Meteoroloogia Agentuuri poolt loodud JRA-55.

ERA-Interim analüüsib andeid alates 1. jaanuarist 1979 kuni tänapäevani. Andmebaasis on erinevaid aluspinna parameetreid 3-tunnise resolutsiooniga ning troposfääri ja stratosfääri andmeid 6-tunnise resolutsiooniga. Samuti on olemas andmed atmosfääri vertikaalsete voogude kohta ning mitmete parameetrite kuukeskmised väärtused (Dee *et al.*, 2011).

MERRA-2 ehk *Modern Era Reanalysis for Research and Applications Version-2* analüüsib andmeid perioodi 1980 – tänapäev kohta. See on esimene pikaajaline ning ülemaailmne järelanalüüsimudel, mis assimileerib kosmosepõhised aerosoolide vaatlused ja seob need teiste kliimasüsteemi füüsikaliste protsessidega. MERRA-2 on algse MERRA uus ja täiendatud versioon (Bosilovich *et al.*, 2015).

JRA-55 ehk *Japanese 55-year Reanalysis* analüüsib andmeid perioodi 1958 – tänapäev kohta. See on üks kõige pikema aegrega mudel. Selle peamine eesmärk on luua igakülgne andmekogum atmosfääri kohta, millest oleks võimalik teha järeldusi kliimamuutuste ja varieeruvuse kohta aastakümnete põhiselt (Kobayashi, 2015).

Kuna atmosfääriprotsessid võivad muutuda kiiresti, ei saa alati täpseid järeldusi teha keskmistatud väärtustele tuginedes. Mõõtmisi on vaja teostada järjepidevalt ja võimalikult tiheda ajalise resolutsiooniga (Bengtsson, 2007).

### **1.2.1. NCEP-CFSR järelanalüüsi mudel**

NCEP-CFSR ehk *National Centers for Environmental Prediction – Climate Forecast System Reanalysis* on loodud Ameerika Ühendriikides. See on ülemaailmne, suure lahutusvõimega mudel, mille eesmärk on anda parim hinnang atmosfäär-ookean-maapind ja maapind-merejää süsteemide seisukorrast ja muutustest vaadeldaval perioodil. Tegemist on kolmanda põlvkonna järelanalüüsimudeliga. NCEP-CFSR mudeli eelkäijateks olid NCEP/NCAR ja NCEP-DOE. Selle järelanalüüsimudeliga modelleeriti meteoparameetreid perioodil jaanuar 1979 – jaanuar 2011. Sama mudelit kasutatakse edasi operatiivselt alates 2011 jaanuarist nimetuse NCEP-CFSv2 all (National Center for Atmospheric Research Staff, 2016; Wang *et al.*, 2010).

Põhiline eelis teiste järelanalüüsimudelite ees seisneb selles, et ta töötleb eri meteoandmeid koos. Testimise käigus on selgunud, et see seos on siiski nõrk. Mudel sidestab küll eri andmeid, et genereerida taustainfot igale erinevale analüüsiperioodile, kuid analüüsimise

protsess ise on eraldiseisev (see tähendab, et iga analüüsitava komponendi kohta tehakse arvutusi eraldi) (Dee *et al.*, 2014).

Mudeli plussideks loetakse veel peenemat spektraalset resolutsiooni. Lisaks võtab käesolev mudel arvesse süsihappegaasi ning teiste inertgaaside, aerosoolide ja päikesekiirguse muutusi ajas. Loetletud parameetreid arvestades annab mudel hinnangu ka nende mõjule Maa kliimamuutustes (National Center for Atmospheric Research Staff, 2016). On leitud, et CFSR aitab parandada praegust arusaama globaalsest maapinna energia ja veetsüklite süsteemist, andes edaspidi lisainfot hüdroloogia, ilmastiku ja kliima teadusuuringute läbiviimiseks (Meng *et al.*, 2012).

Samas on CFSRi kohta tehtud liiga vähe uurimusi töö kvaliteedi suhtes, seega ei saa veel kindel olla selle täpsuses. Siiani tehtud uuringutes on välja tulnud, et NCEP-CFSR mudel on täpsem kui tema eelkäijad, kuid pole veel täielikult vaba erinevatest vigadest. Näiteks on mitmetes uuringutes leitud, et CFSR kipub nii temperatuuri kui ka tuule kiiruse väärtusi alahindama (Decker, 2012; Jakobson, 2012).



## **2. ANDMED JA METOODIKA**

### **2.1. Asukoha kirjeldus**

Tõravere meteoroloogiajaam asub Tartu maakonnas, Nõo vallas (koordinaadid: N58°15'51''; E26°27'41''). Tegemist on tasase maapinnaga ning vaatlusväljaku kõrgus merepinnast on 70 meetrit (Russak ja Kallis, 2003). Jaam asub kontinentaalsema kliimaga sise-Eesti kliimavaldkonnas. Läänemere mõjutusi seal enam põhimõtteliselt tunda ei ole. Parasvöetmelise merelise ja mandrilise õhu tasakaal on enam-vähem võrdne. Mandriline õhumass on ülekaalus talve teisest poolest suve alguseni ning mereline suve algusest talve teise pooleni. Oluliseks näitajaks on päikesepaiste kestus, mille mitmete aastate keskmine väärtus on 1600–1700 tundi aastas (Jaagus, 2016). Seda on vähem kui Eestis keskmiselt (1600–1900 tundi aastas) (Russak ja Kallis, 2003).

Vaatlusi hakati tegema Tõravere meteoroloogiajaamas aastal 1964 ning jaam automatiseeriti 2003. Mõõdetavad parameetrid on õhutemperatuur, maapinnatemperatuur, minimaalne õhutemperatuur 2 cm kõrgusel maapinnast, pinnasetemperatuur eri sügavustel, pinnasetemperatuur rohukatte all eri sügavustel, õhuniiskus, sademed, tuul (suund ja kiirus), pilved (hulk, liigid, kõrgus), nähtavuskaugus, atmosfäärinähtused, maapinna seisund, lumikatte paksus, jäite-härma ladestus, päikesepaiste kestus, kiirus (otsene, hajus, summaarne, peegeldunud, UV-A, UV-B, UV-indeks), maapinna ja atmosfääri pikalaineline kiirus, osooni hulk, fotosünteesiliselt aktiivne kiirus. Tartu-Tõravere meteojaam on alates aastast 1999 ka päikesekiirguse mõõtmise baasjaamade (BSRN) võrgus (Russak ja Kallis, 2003; Riigi Ilmateenistus, 2016).

### **2.2. Andmete kirjeldus**

Töös on kasutatud Tõraveres mõõdetud atmosfääri ja maapinna pikalainelise kiirguse ning maapinna temperatuuri väärtusi ning NCEP-CFSR järelanalüüsi mudelist saadud 0,5° X 0,5° resolutsiooniga andmeid, mis on interpoleeritud Tõravere meteojaama asukohta ajaperioodil 01.01.1979 kuni 31.12.2014. Kuna aga Tõraveres algasid mõõtmised hiljem, on atmosfääri pikalainelise kiirguse puhul töös kasutatud andmeid perioodil 01.01.2003 kuni 31.12.2014

ning maapinna pikalainelise kiirguse andmeid perioodil 01.07.2006 kuni 31.12.2014. Atmosfääri pikalainelise kiirguse mõõdetud andmed puuduvad Tõraveres ajavahemikus 21.08.2014–16.10.2014.

NCEP-CFSR järelanalüüsimudelil on iga päeva kohta neli andmepunkti, millest lähtuvalt on võrdlused tehtud kell 00:00, 06:00, 12:00 ja 18:00 UTC.

## 2.3. Metoodika

Maapinna ja atmosfääri pikalainelise kiirguse ning temperatuuri andmeid võrreldes on leitud mudeli kõrvalekalde mõõdetud väärtustest ning välja on toodud vastavad ruutkeskmised vead. Mudeli kõrvalekalde mõõdetud väärtustest on arvutatud valemiga:

$$\text{Kõrvalekalle} = \frac{\sum x_{\text{mudel}} - x_{\text{mõõdetud}}}{N}$$

Ruutkeskmised vead (RMSE – root mean square error) on arvutatud valemiga:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum (x_{\text{mudel}} - x_{\text{mõõdetud}})^2}{N}}$$

Kuna Tõraverest saadud pikalainelise kiirguse andmete ühikuks oli MJ/m<sup>2</sup>s, kuid mudel kasutas ühikuid W/m<sup>2</sup>, siis viidi läbi teisendus:  $X \text{ [MJ/m}^2\text{s]} / 3,6 \times 10^{-3} = X \text{ [W/m}^2\text{]}$ . Edaspidi ongi kõik kiirguse väärtused antud ühikutes W/m<sup>2</sup>.

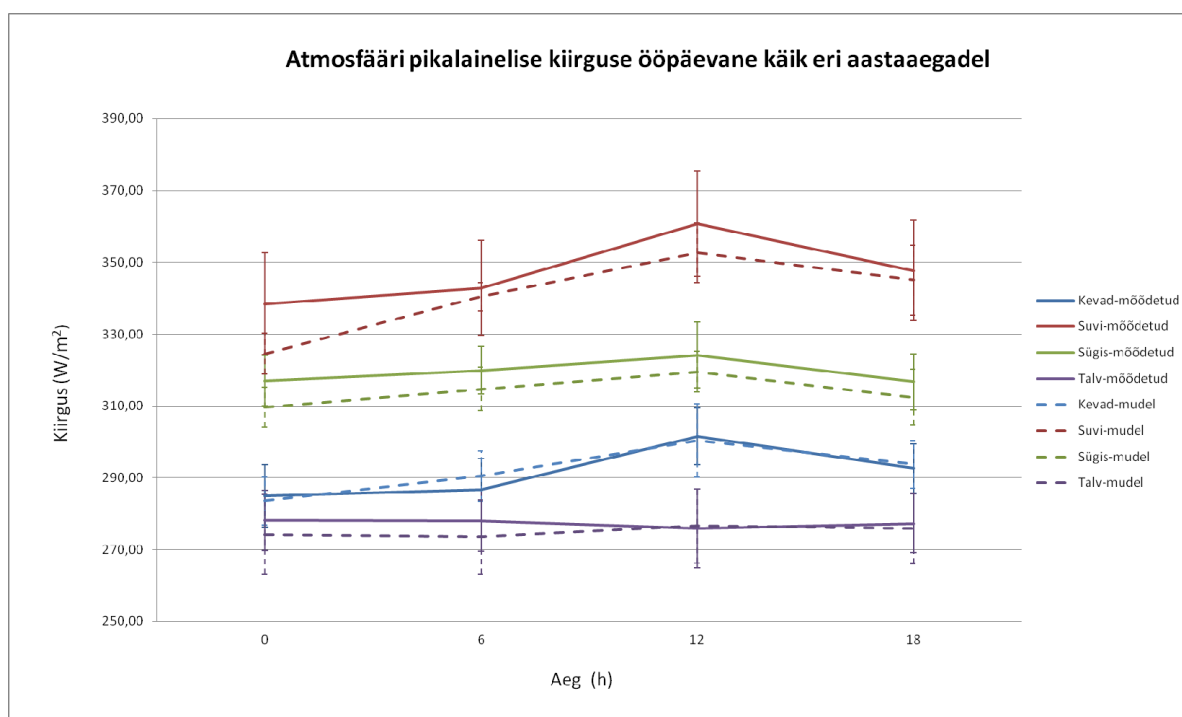
Andmeid on töödeldud ning tulemusi vormistatud programmidega Excel ja Python.

### 3. TULEMUSED JA ARUTELU

#### 3.1. Kiirguse karakteristikud

Tõraveres jääb mõõdetud atmosfääri pikalainelise kiirguse keskmine ööpäevane väärtus sõltuvalt aastaajast vahemikku 270–360 W/m<sup>2</sup> (Joonis 1). Samale joonisele on toodud ka mudeli poolt arvatud kiirguse andmed. Enamasti on keskmine ööpäevane maksimum kell 12 UTC, ainult talvel on pikalainelise kiirguse ööpäevane käik praktiliselt olematu.

On näha, et mudeli väärtused on enamuse ajast madalamad kui mõõdetud väärtused, ainult kevadel kell 06 UTC ning talvel ja kevadel kell 12 UTC ületavad mudeli väärtused mõõdetud väärtuseid. Suurim erinevus leiab aset suvel kell 00 UTC, kui mudeli arvatud kiirguse väärtus on keskmiselt 15 W/m<sup>2</sup> võrra väiksem kui mõõdetud väärtus. Teistel aasta- ja kellaaegadel on erinevus väiksem kui aastatevaheline standardhälve.

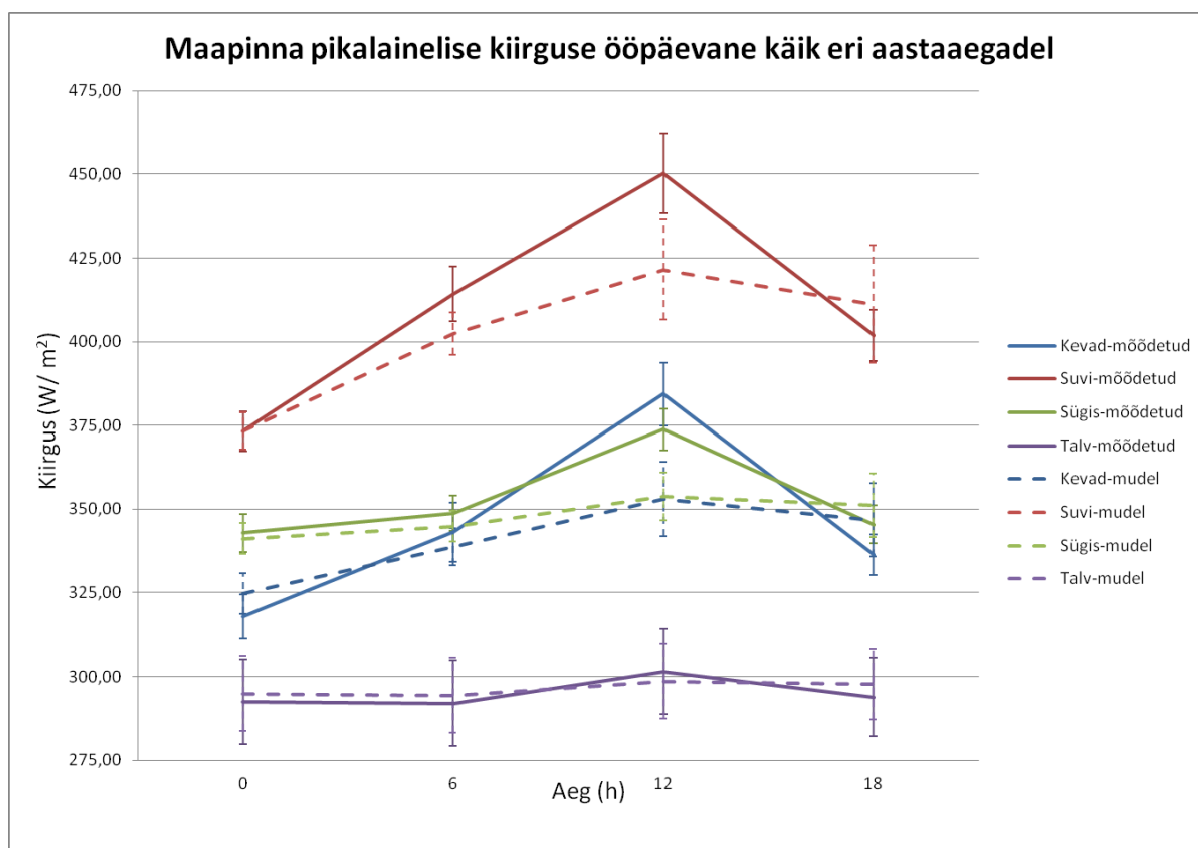


Joonis 1. Atmosfääri pikalainelise kiirguse keskmine ööpäevane käik eri aastaegadel koos aastatevahelise standardhõlbega (aastad 2003–2014).

Maapinna pikalainelise kiirguse mõõdetud väärtused jäävad vahemikku 290–450 W/m<sup>2</sup> (Joonis 2). Kusjuures ööpäevane kõikumine on suurim suvel (juuni–august) ja väikseim talvel (detsember–veebruar). Talvel on ööpäevased muutused väga väikesed, kuna siis on

päiksekiirgust oluliselt vähem. Sarnane seos on selgelt nähtav ka maapinna temperatuuri puhul (Joonis 3).

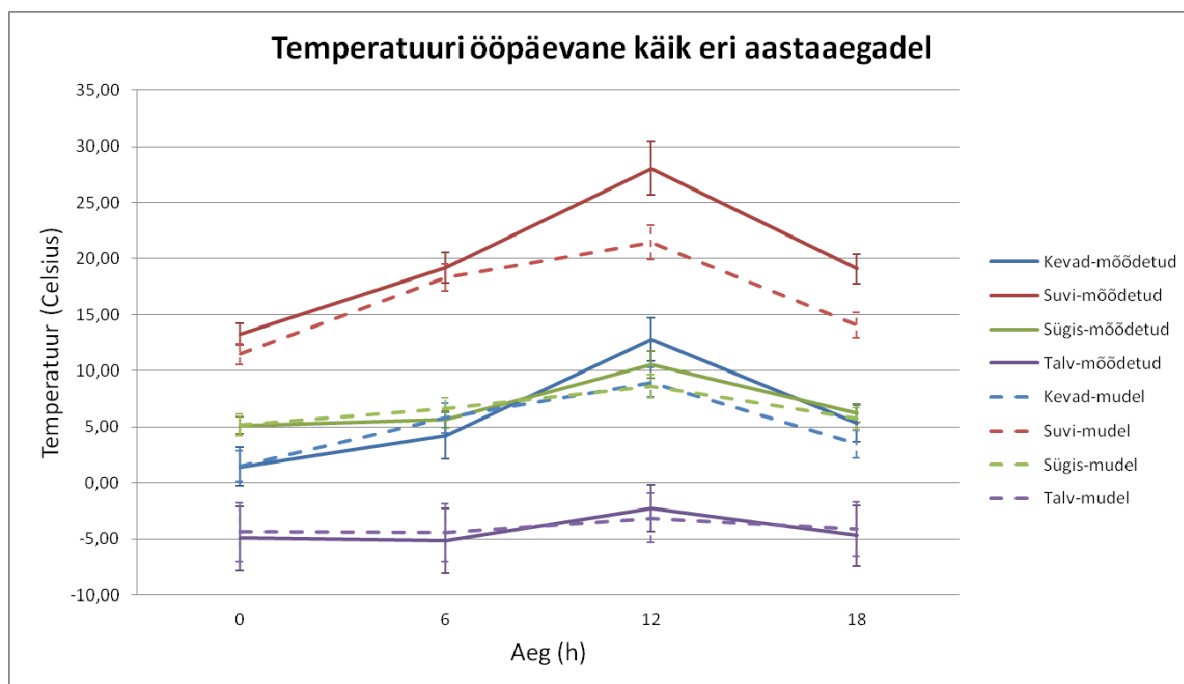
Mudel ülehindab maapinna pikalainelise kiirguse väärtusi igal aastaajal kell 18 UTC ning igal aastaajal (välja arvatud sügisel) kell 00 UTC, lisaks ka talvel kell 06 UTC. Ülejäänud aegadel on mudeli väärtused väiksemad mõõdetud väärtustest. Kõige suurem erinevus maapinna pikalainelises kiirguses on kevadel keskpäeval, kui kiirguse väärtused on keskmiselt  $30 \text{ W/m}^2$  võrra mõõdetud väärtustest väiksemad. Kõige väiksemad on erinevused aastaegade lõikes talvel, kus igal kellaajal jääb keskmine erinevus alla  $5 \text{ W/m}^2$ . Kõige täpsem on mudel olnud suvel 00 UTC, kus erinevus on praktiliselt olematu (mudel hindab väärtusi üle  $0,11 \text{ W/m}^2$ ).



Joonis 2. Maapinna pikalainelise kiirguse keskmine ööpäevane käik eri aastaegadel koos aastatevahelise standardhõlbega (aastad 2006–2014).

Temperatuuri sesoonsed keskmised mõõdetud väärtused jäävad Tõraveres vahemikku  $-5$ – $28^\circ\text{C}$  (Joonis 3). Suurim ööpäevane temperatuuri muutus toimub suvel. Väikseim maapinna temperatuuri kõikumine on talvel, kus ööpäeva kõrgeima ja madalaima temperatuuri vahe on keskmiselt  $3^\circ\text{C}$ . On näha, kuidas mudel alahindab tugevasti enamus

ajast temperatuuri väärtusi ja seda eriti suveperioodil kell 12 UTC, kus 12 aasta jooksul on keskmine erinevus mõõdetud väärtustest 7°C. See võib olla ka üks peamistest põhjustest, miks mudel alahindab ka maapinna pikalainelise kiirguse väärtusi. Talvel 00, 06 ja 18 UTC ning kevadel ja sügisel 06 UTC jäävad mõõdetud väärtused allapoole mudeli väärtusi.

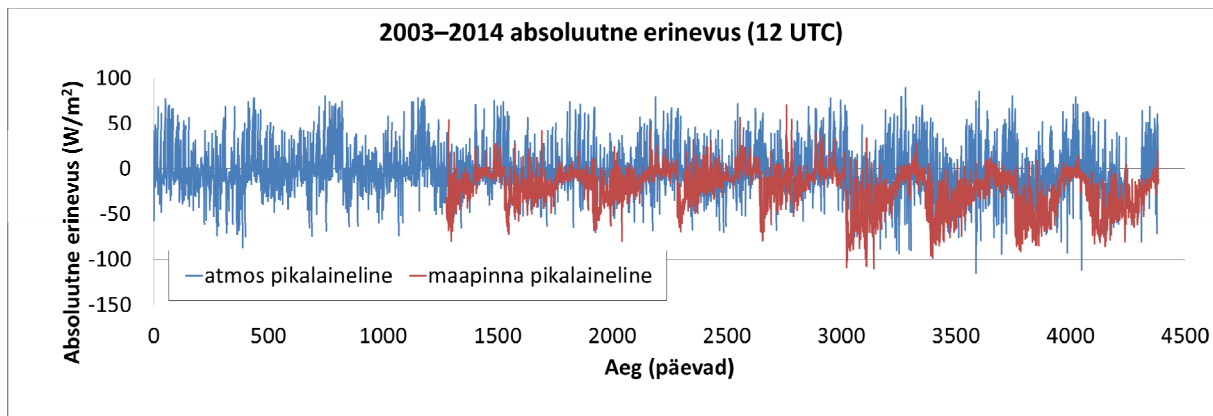


Joonis 3. Temperatuuri keskmine ööpäevane käik eri aastaaegadel koos aastatevahelise standardhälbega (aastad 2003–2014).

### 3.2. Mudeli valideerimine

Eraldi alapeatükkidena on välja toodud erinevused atmosfääri ja maapinna pikalainelise kiirguse ning temperatuuri mõõdetud ja mudeli väärtuste vahel.

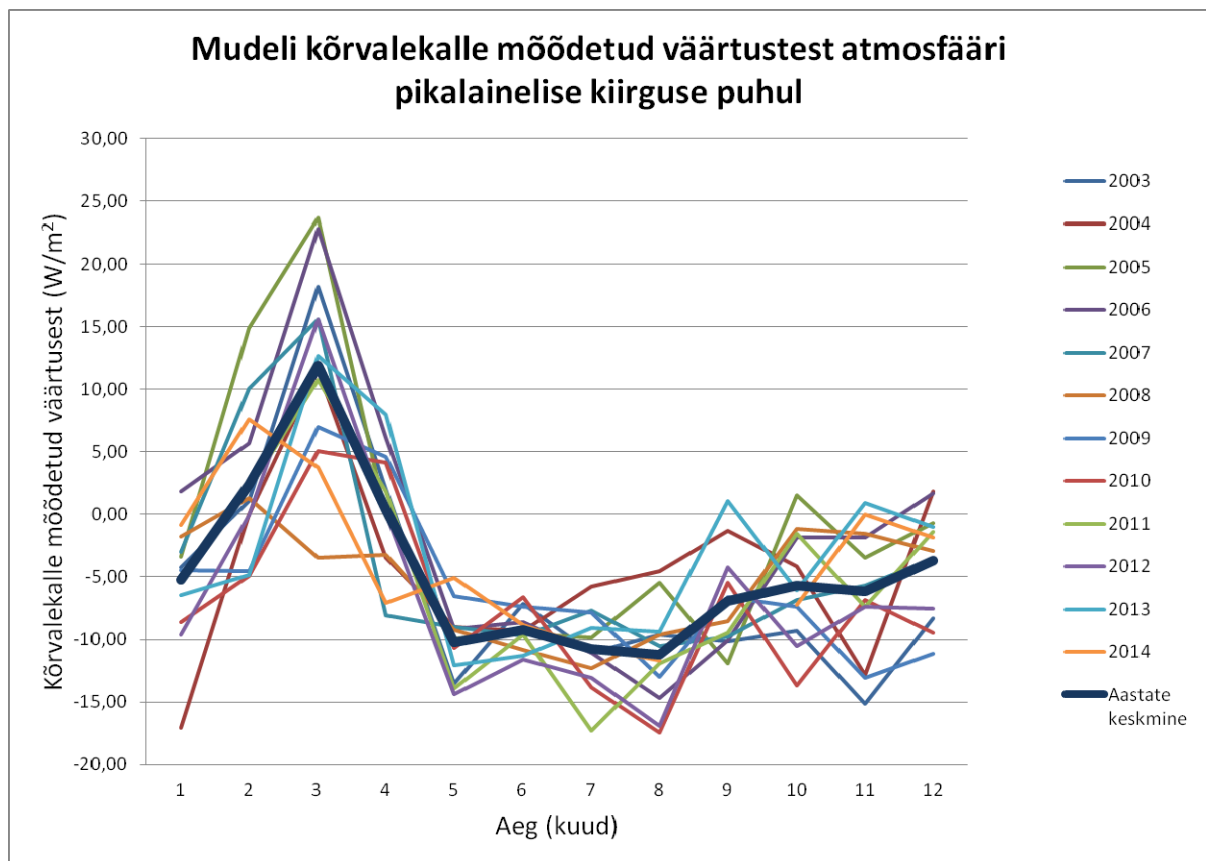
Joonisel 4 on toodud mudeli ja mõõdetud väärtuste absoluutne erinevus kell 12 UTC nii atmosfääri kui ka maapinna pikalainelise kiirguse kohta perioodil 2003–2014. Jooniselt tuli välja, et erinevuse väärtused muutuvad süstemaatiliselt. Järgneval on uuritud erinevuse süstemaatilisi muutusi aastate ja kuude lõikes.



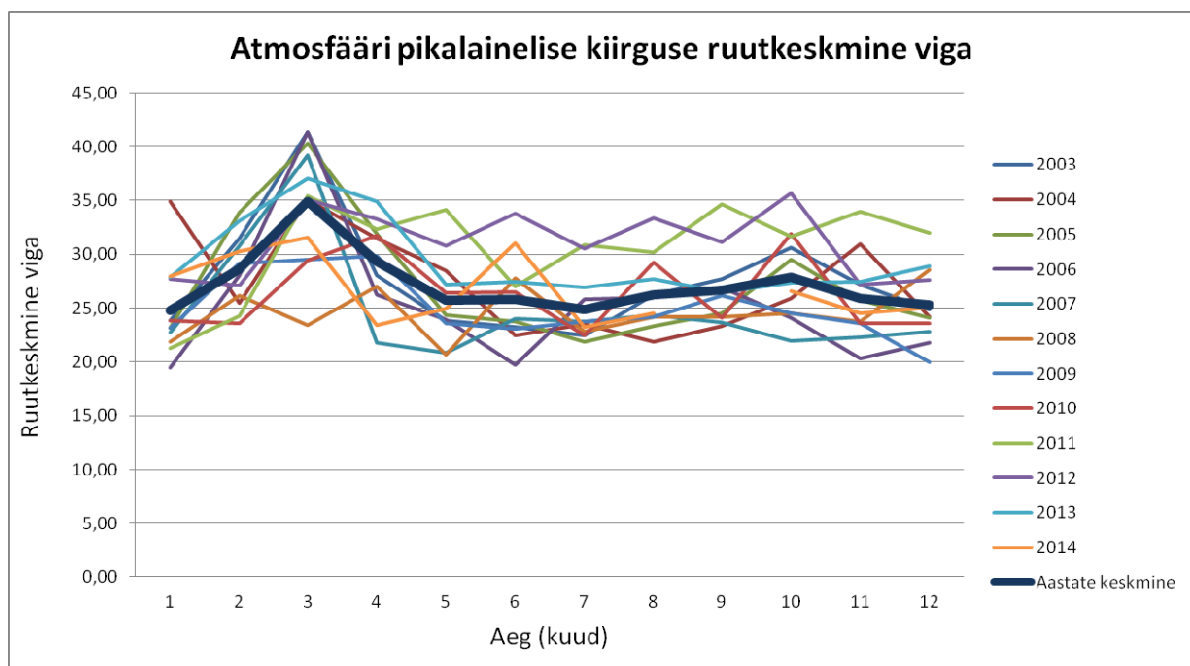
Joonis 4. Kogu perioodi (2003–2014) mudeli ja mõõdetud väärtuste absoluutne erinevus kell 12 UTC nii atmosfääri kui maapinna pikalainelise kiirguse kohta.

### 3.2.1. Atmosfääri pikalaineline kiirgus

Aasta alguses, eriti vahemikus veebruar kuni aprill, hindab mudel enamikel aastatel kiirguse väärtusi mõõdetutest suuremaks, mõnel aastal koguni ületab kuukeskmise erinevus  $20 \text{ W/m}^2$ . Ülejäänud kuudel mudel alahindab atmosfääri pikalainelise kiirguse väärtusi keskmiselt  $5\text{--}10 \text{ W/m}^2$ . Suurimad negatiivsed kõrvalekalded esinevad suvel (mai–august) (Joonis 5). Positiivsed kõrvalekalded on pisut suuremad kui negatiivsed. Seega ka ruutkeskmise viga on suurem veebruarist aprillini (Joonis 6). Jooniselt 5 on veel näha, et aastal 2011 on kõrvalekalded suurimad aasta alguses. Põhjus võib olla selles, et sel aastal lõpetas mudel projektipõhise töö ning muudeti mõningaid mudeli parameetreid.



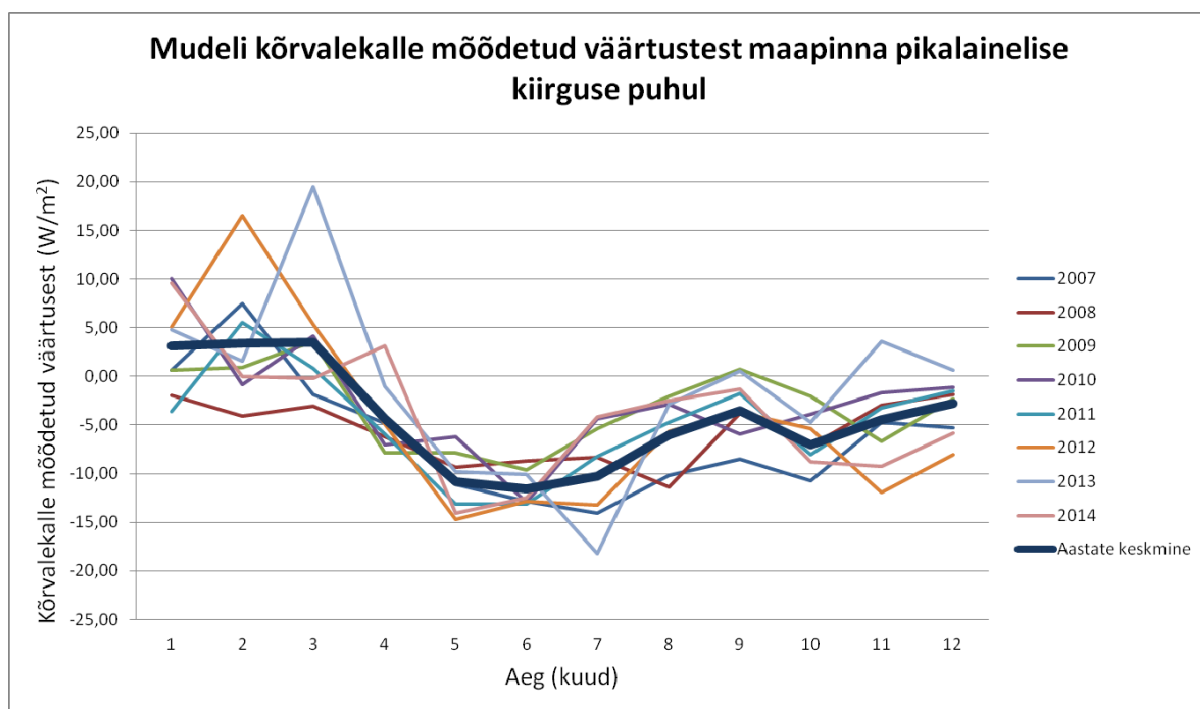
Joonis 5. Mudeli keskmine igakuine kõrvalekalle mõõdetud väärtusest eri aastatel atmosfääri pikalainelise kiirguse korral.



Joonis 6. Mudeli väärtuste ning mõõdetud väärtuste vaheline igakuine ruutkeskmine viga eri aastatel atmosfääri pikalainelise kiirguse korral.

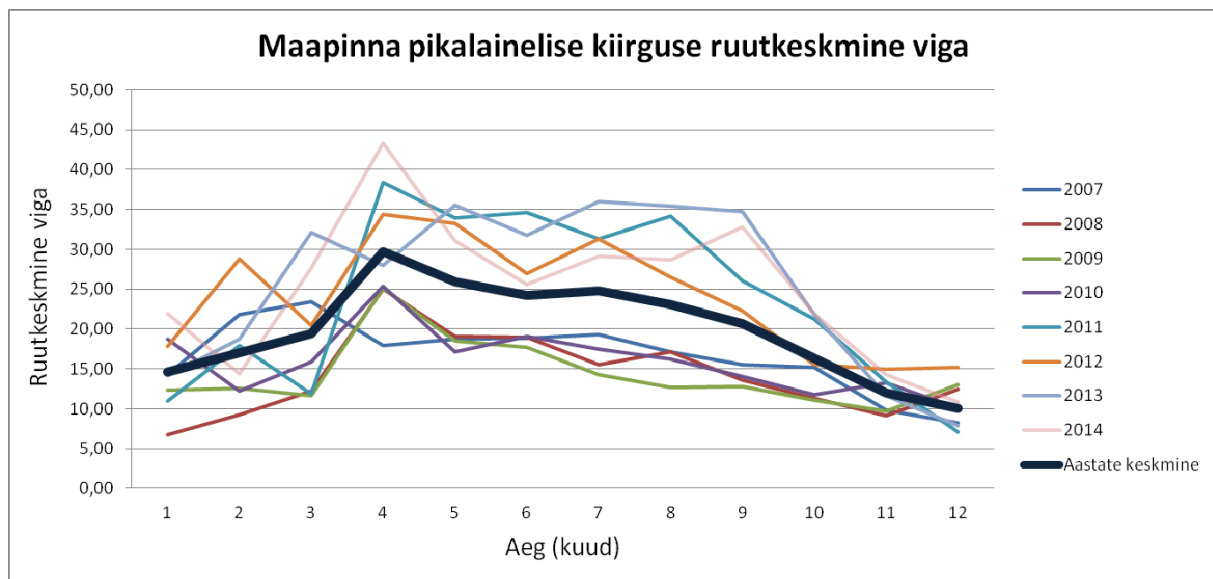
### 3.2.2. Maapinna pikalaineline kiirgus

NCEP-CFSRi maapinna pikalainelise kiirguse kõrvalekalded mõõtmisandmetest on väiksemad kui atmosfääri pikalainelise kiirguse puhul. Jaanuarist märtsini on mudeli väärtused suuremad mõõdetud väärtustest. Aprillist detsembrini mudel alahindab mõõdetud väärtusi, kõige enam maist juulini (Joonis 7). Siiski on alates aastast 2011 näha mõningatel kuudel varieeruvuse hüppelist suurenemist (Joonis 8), samamoodi, nagu atmosfääri pikalainelisel kiirgusel.



Joonis 7. Mudeli keskmine igakuine kõrvalekalle mõõdetud väärtusest eri aastatel maapinna pikalainelise kiirguse korral.

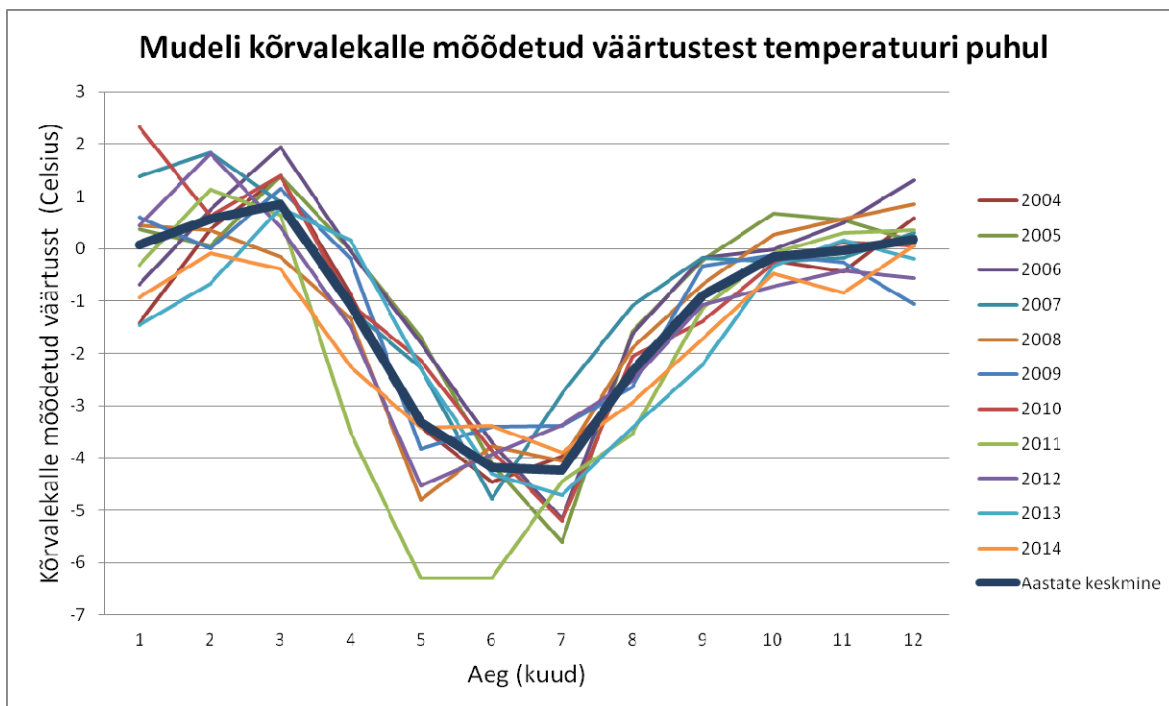




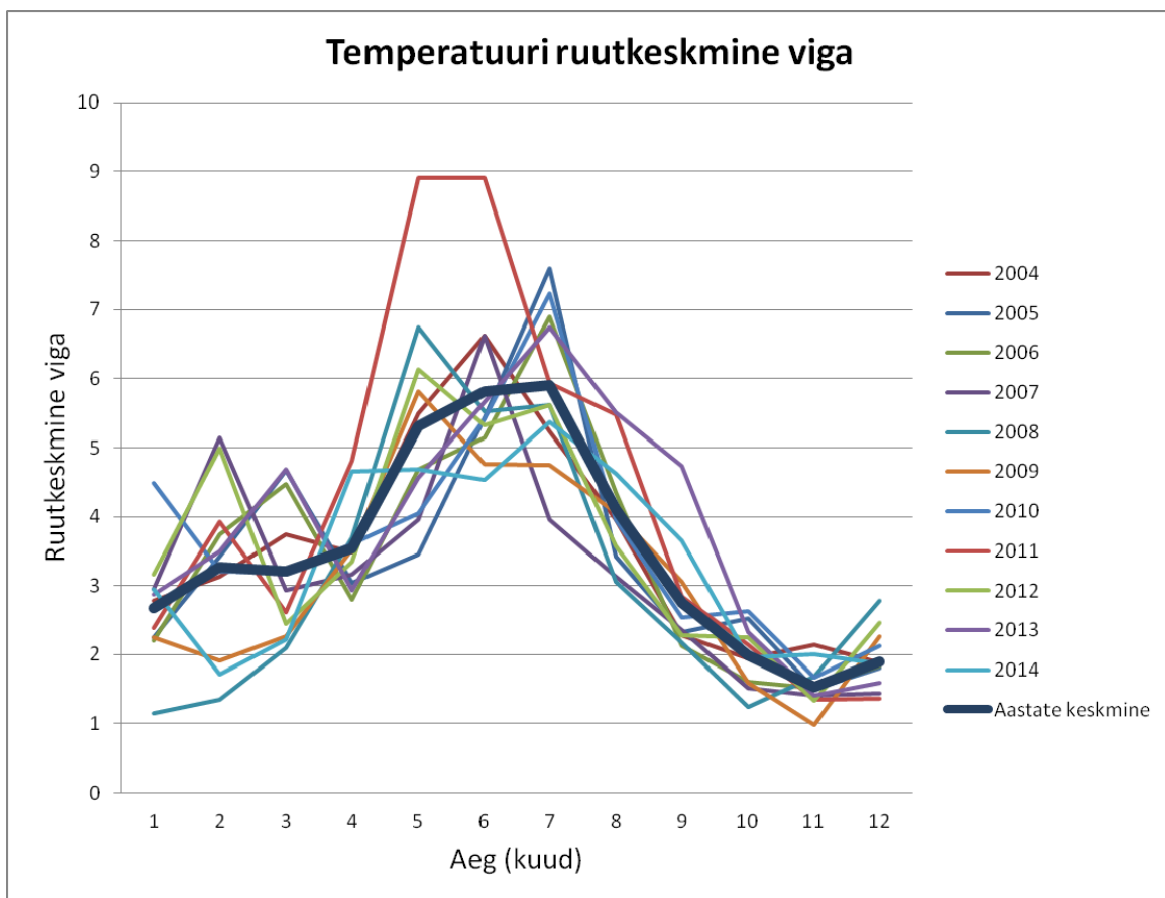
Joonis 8. Mudeli väärtuste ning mõõdetud väärtuste vaheline igakuine ruutkeskmine viga eri aastatel maapinna pikalainelise kiirguse korral.

### 3.2.3. Temperatuur

Erinevatest uuringutest on selgunud, et NCEP-CFSR järelanalüüsimudeli temperatuuri väärtused on madalamad kui mõõdetud väärtused (Bao ja Zhang, 2013; Saha *et al.*, 2010). Ka võrreldes teiste järelanalüüsimudelitega alahindab NCEP-CFSR pigem temperatuuri väärtusi (Decker, 2012). See tulemus leidis kinnitust ka käesolevas uurimistöös. Sarnaselt kiirguste mõõtmistega hindab mudel aasta esimesel kolmel kuul temperatuuri väärtust üle ning ülejäänud kuudel pakub pisut madalamaid temperatuure, miinimumidega suvel (Joonis 9). Kuna negatiivsed kõrvalekalded on suuremad, on ka ruutkeskmised vead suveperioodil suuremad (Joonis 10). Ka temperatuuri puhul on näha varieeruvuse hüppelist suurenemist aastal 2011, sellest tekkisid omakorda vead mudelis kiirguste arvutamisel.



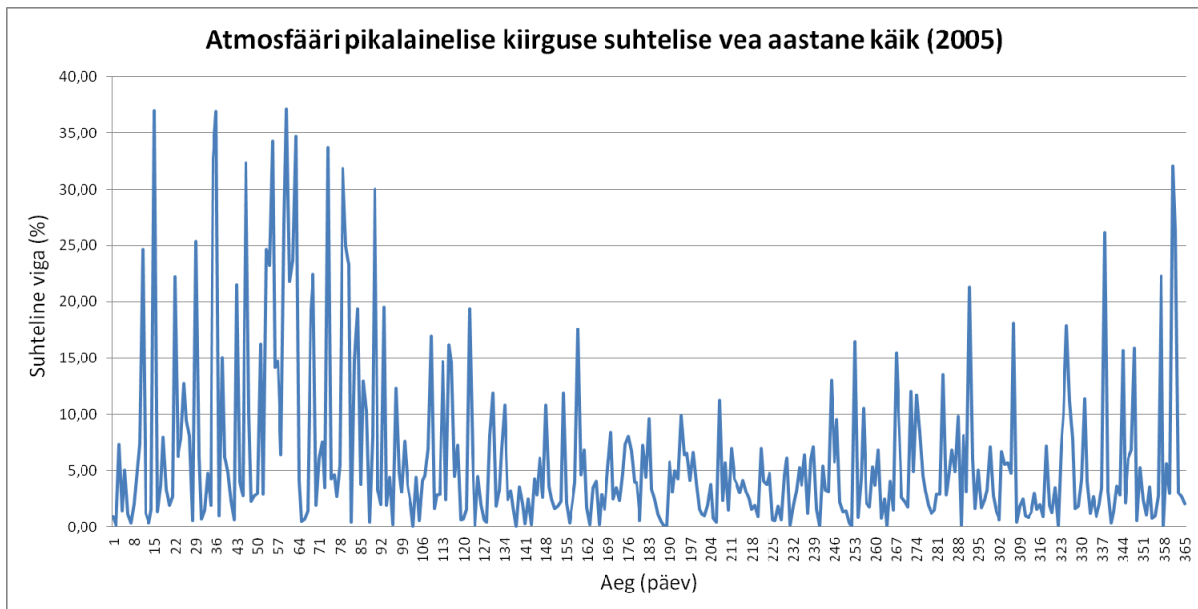
Joonis 9. Mudeli keskmine igakuine kõrvalekalle mõõdetud väärtusest eri aastatel temperatuuri korral.



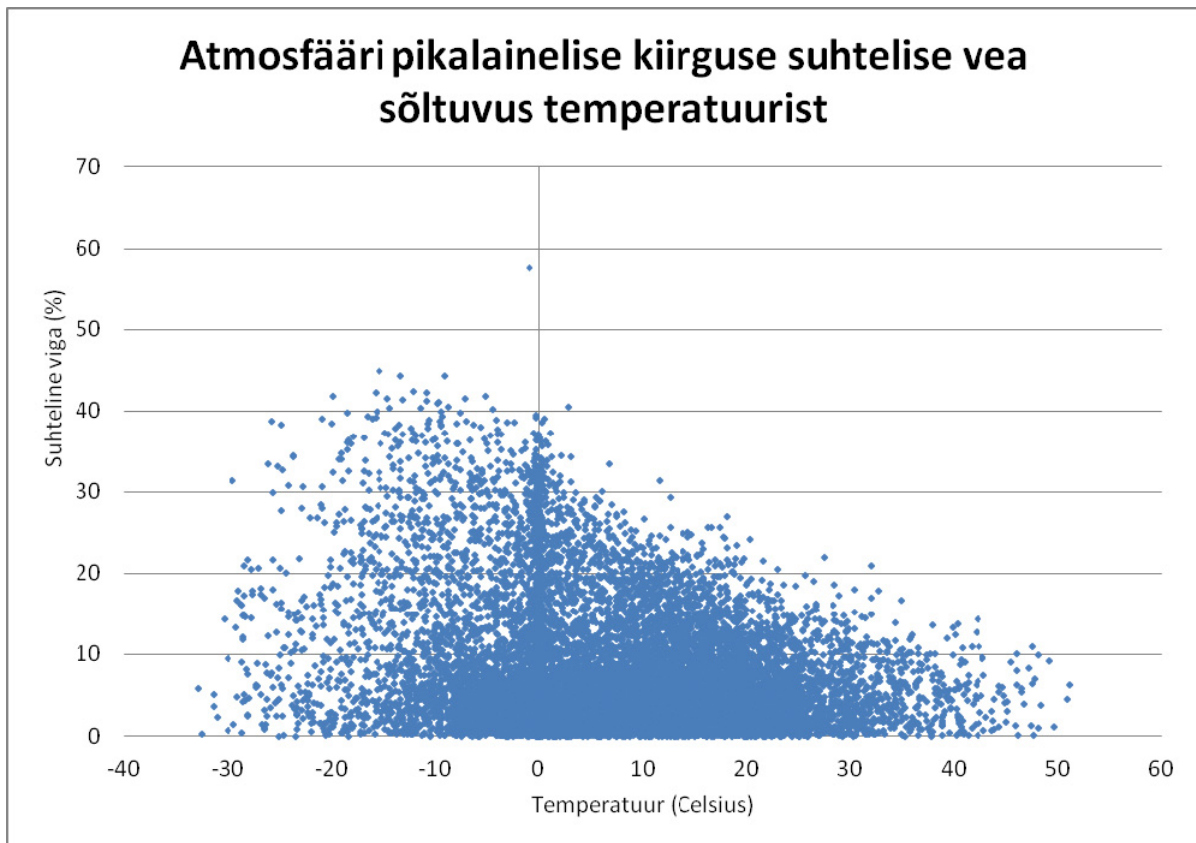
Joonis 10. Mudeli väärtuste ning mõõdetud väärtuste vaheline igakuine ruutkeskmine viga eri aastatel temperatuuri korral.

### 3.2.4. Süstemaatiliste vigade analüüs

Ilmnes, et atmosfääri pikalainelise kiirguse korral on vead suuremad just jahedamatel kuudel aasta alguses ja lõpus. Eriti hästi kujutab seda suhtelise vea aastane käik. Töös on välja toodud see käik 2005nda aasta kohta (Joonis 11), teiste aastate käigud on analoogsed. Jooniselt on hästi näha, kuidas vead suurenevad vahemikus jaanuar-märts ning seejärel langevad. Kui temperatuur hakkab septembris taas langema, hakkavad suurenema ka vead. Selle seose kontrollimiseks koostati programm (Lisa 1), mis otsib andmestikust üles etteantud suhtelise vea korral esinevad temperatuurid. Katsest tuli välja, et mida madalam on temperatuur, seda rohkem esineb suuremaid vigu (Joonis 12). Kõige suuremad vead ilmnevad temperatuuride vahemikus  $-15\ldots -18^{\circ}\text{C}$ .

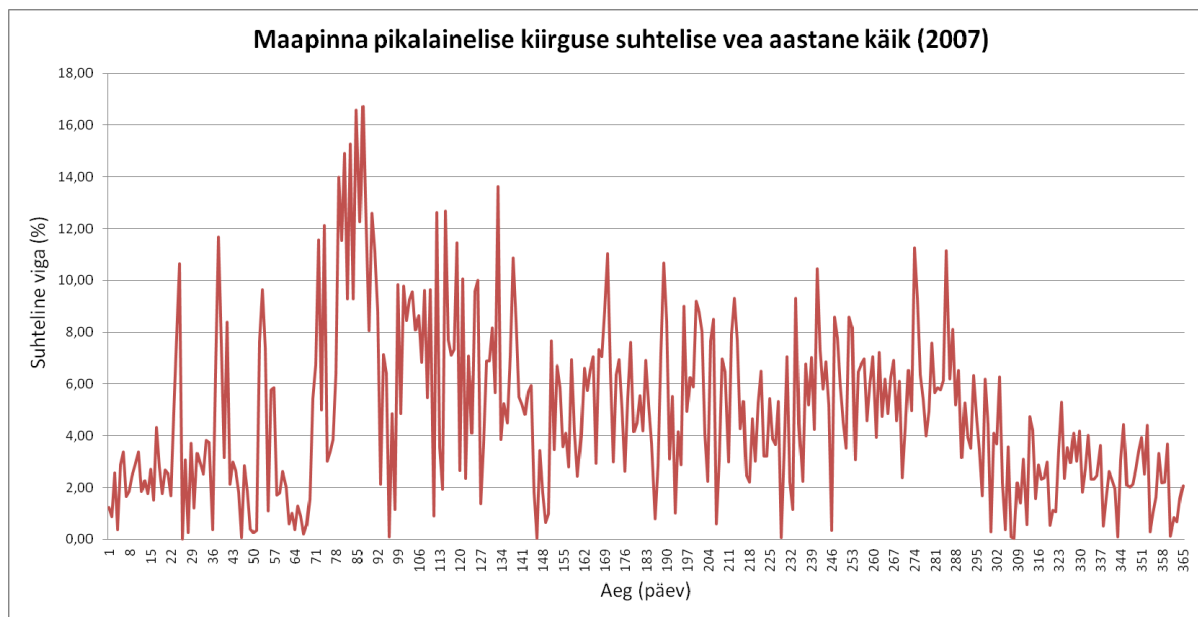


Joonis 11. Mudeli suhtelise vea aastane käik aastal 2005 atmosfääri pikalainelise kiirguse korral.

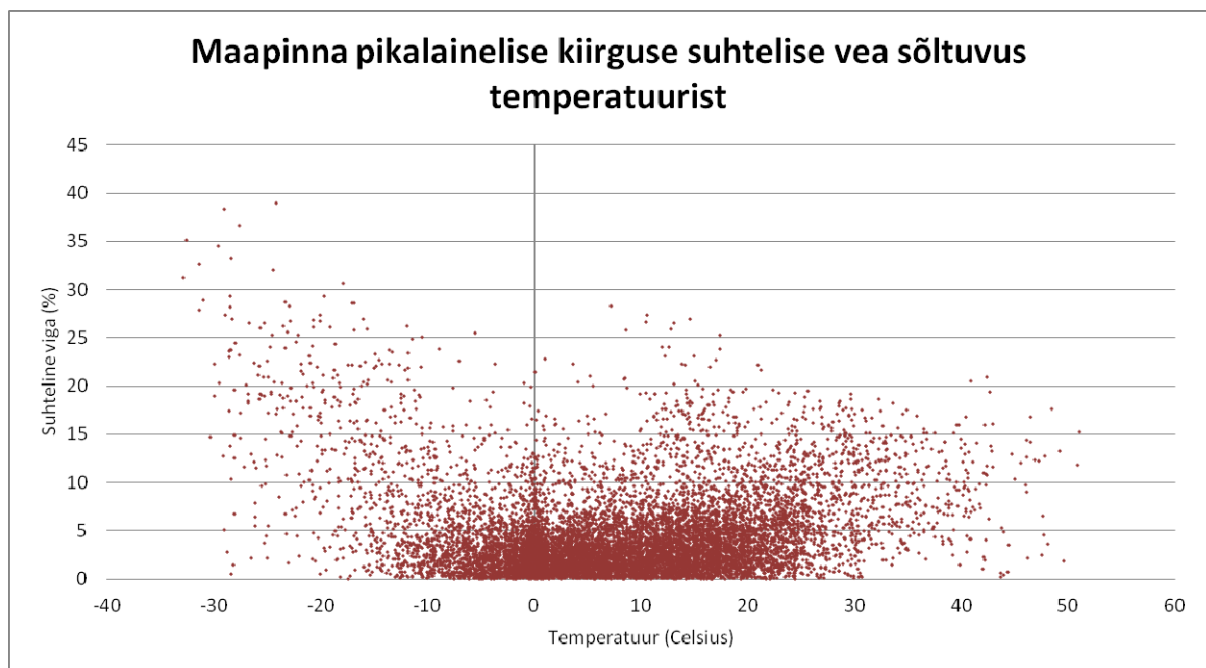


Joonis 12. Mudeli suhtelise vea sõltuvus temperatuurist atmosfääri pikalainelise kiirguse korral (16197 andmepunkti).

Maapinna pikalainelise kiirguse puhul on vigade jaotus pisut ühtlasem. Suurimad vead esinevad märtsis. Aasta alguses ning lõpus on vead pigem väiksemad kui aasta keskel (Joonis 13). Siiski, kui temperatuur langeb alla  $-20^{\circ}\text{C}$ , suurenevad ka suhtelised vead märgatavalt (Joonis 14).



Joonis 13. Mudeli suhtelise vea aastane käik aastal 2007 maapinna pikalainelise kiirguse korral.



Joonis 14. Mudeli suhtelise vea sõltuvus temperatuurist maapinna pikalainelise kiirguse korral (12389 andmepunkti).

Võib oletada, et mudeli parameetrite määramisel on kasutatud soojemate alade jaoks leitud algoritme, sest vead kasvavad silmnähtavalt just madalamatel temperatuuridel. Ka varasemates uuringutes on välja toodud, et kui võrrelda mudeli andmeid mõõdetud andmetega, siis on näha märkimisväärsed kõrvalekaldeid (Saha *et al.*, 2010). Neid kõrvalekaldeid seostatakse puudujääkidega mudeli kalibratsioonis, andmetöötluse

protsessides ning satelliitidelt saadava kiirgusinfo integreerimises (Saha *et al.*, 2010). Lisaks leitakse, et vead on põhiliselt tehnilist laadi, kuid palju sõltub ka sellest, kui järjepidevad on vaatlusandmed ja kui täpsed on mudelid (Dee *et al.*, 2014).

## KOKKUVÕTE

Käesolevas töös uuriti NCEP-CFSR järelanalüüsi mudeli poolt arvutatud väärtuste vastavust Tõraveres mõõdetud väärtustele. Selgus, et mudel alahindab enamuse ajast nii atmosfääri ja maapinna pikalainelise kiirguse kui ka maapinna temperatuuri väärtusi. Temperatuuri alahindamine on suurim suvel ning kevadel keskpäeval. Kuna maapinna pikalaineline kiirgus on suuresti sõltuv maapinna temperatuurist, siis hindab mudel ka seda alla kõige rohkem just kevadel ning suvel. See tulemus viitab, et mudel alahindab Päikese maapinna soojendamise võimet.

Atmosfääri pikalainelise kiirguse puhul on suhtelised vead suuremad just jahedamatel kuudel. Miinuskraadide juures on näha trend, et mida madalam on temperatuur, seda suurem on suurte suhteliste vigade tekkimise tõenäosus. Lisaks on aastal 2011 näha hüppelist kõrvalekallete ja vigade suurenemist. Põhjuseks võib olla mudeli projektipõhise töö lõppemine, peale mida arvatavasti muudeti mõningaid mudeli parameetreid.

Põhiliseks kõrvalekallete põhjuseks on ilmselt asjaolu, et mudeli parameetrite määramisel on kasutatud soojemate alade jaoks loodud algoritme, mis Eesti ilmastikuoludele ei vasta. Seega peab mudelit Eesti kliimas kasutades arvestama tekkivate suuremate kõrvalekalletega talvel madalamatel temperatuuridel ning suvel, kui päikesekiirgust on palju.

## SUMMARY

The aim of this study was to analyse NCEP-CFSR atmospheric reanalyse model calculated values compliance to values measured in Tõravere. It appeared, that the model usually underestimates upwelling and downwelling longwave radiation as well as surface temperature. The underestimation of the temperature is highest in the summer and spring at noon. As the upwelling longwave radiation is largely dependent on the temperature of the ground, the bias is higher in this period. This result indicates that the model underestimates the Sun's ability to heat the surface.

For the downwelling longwave radiation, the relative errors are larger in cooler months. There is a trend – the lower the temperature, the greater is probability of the large relative error. In addition, in 2011, there is a sharp increase in biases and errors. The reason for this may be the fact that in 2011 the model's project-based work ended, after which some of the model's parameters were supposedly changed.

The main cause for biases are probably algorithms that are derived for warmer areas, which are not suitable for Estonian weather conditions. Therefore, one should be extra careful when using the model in Estonian climate in winter with lower temperatures and in summer with a lot of Sun radiation.



## KASUTATUD KIRJANDUS

1. Bao, X; Zhang, F. 2013. *Evaluation of NCEP–CFSR, NCEP–NCAR, ERA-Interim, and ERA-40 Reanalysis Datasets against Independent Sounding Observations over the Tibetan Plateau*. Journal of Climate, Volume 26, lk 206–214.
2. Bengtsson, L. et al. 2007. *The Need for Dynamical Climate Reanalysis*. Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS), Volume 88, No.4, lk 495–501.
3. Bosilovich, M.G.; Lucchesi, R.; Suarez, M. 2015. *Merra-2: File Specification*. Global Modeling and Assimilation Office, Office Note No. 9.
4. Decker, M.; Brunke, M.; Wang, Z.; Sakauchi, K.; Zeng, X.; Bosilovich, M. 2012. *Evaluation of the Reanalysis Products from GSFC, NCEP, and ECMWF Using Flux Tower Observations*. Journal of Climate, Volume 25, No. 6, lk 1916–1944.
5. Dee, D. P.; Balmaseda, M.; Balsamo, G.; Engelen, R.; Simmons, A. J.; Thepaut, J.-N. 2014. *Toward a Consistent Reanalysis of the Climate System*. BAMS, Volume 95, Issue 8, lk 1244–1245.
6. Dee, D. P.; Uppala, S. M. et al. 2011. *The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Volume 137, Issue 656, lk 553–597.
7. Hou, Y-T.; Moorthi, S.; Campana, K. 2002. *Parametrization of Solar Radiation Transfer in the NCEP Models*. NCEP Office Note 441.
8. Jaagus, J. *Kagu-Eesti kliimaressursside ülevaade*. Kättesaadav: <http://www.geo.ut.ee/kera/kliima2.html> Viimati vaadatud: 01.05.2016
9. Jakobson, E.; Vihma, T.; Palo, T.; Jakobson, L.; Keernik, H.; Jaagus, J. 2012. *Validation of atmospheric reanalyses over the central Arctic Ocean*. Geophysical Research Letters, Volume 39, Issue 10.
10. Keskkonnaagentuur, Tõraveres mõõdetud pikalaineline atmosfääri ja maapinna kiirgus ning maapinna temperatuur (2003–2014). Andmed seisuga: 29.09.15

11. Kobayashi, S. *et al.* 2015. *The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics*. Journal of the Meteorological Society of Japan, Volume 93, Issue 1, lk 5–48.
12. Lindsay, R.; Wensnahan, M.; Schweiger, A.; Zhang, J. 2014. *Evaluation of Seven Different Atmospheric Reanalysis Products in the Artic*. Journal of Climate, Volume 27, Issue 7, lk 2588–2606.
13. Meng, J.; Yang, R.; Wei, H.; Ek, M.; Gayno, G.; Xie, P.; Mitchell, K. 2012. *The Land Surface Analysis in the NCEP Climate Forecast System Reanalysis*. Journal of Hydrometeorology, Volume 13, Issue 5, lk 1621–1630.
14. National Center for Atmospheric Research Staff. 2016. *The Climate Data Guide: Climate Forecast System Reanalysis (CFSR)*.  
Kättesaadav: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/climate-forecast-system-reanalysis-cfsr> Viimati vaadatud: 01.05.2016
15. Riigi Ilmateenistus. *Tartu-Tõravere meteoroloogiajaam*.  
Kättesaadav: <http://www.ilmateenistus.ee/ilmateenistus/vaatlusvork/tartu-toravere-meteoroloogiajaam/> Viimati vaadatud: 01.05.2016
16. Russak, V.; Kallis, A. 2003. *Eesti kiirguskliima teatmik*. Eesti Vabariigi Keskkonnaministeerium, Tallinn.
17. Russak, V.; Niklus, I. 2015. *Longwave radiation at the earth's surface in Estonia*. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Volume 64, Issue 4, lk 480–487.
18. Saha, S. *et al.* 2010. *The NCEP Climate Forecast System Reanalysis*. BAMS, Volume 91, Issue 8, lk 1015–1057.
19. Wang, W.; Xie, P.; Yoo, S.-H.; Kumar, A.; Wu, X. 2010. *An Assessment of the Surface Climate in the NCEP Climate Forecast System Reanalysis*. Climate Dynamics, Volume 37, Issue 7, lk 1601–1620.

## LISAD

LISA 1: Pythoni programm leidmaks üles suuri vigasid tekitavad temperatuurid.

```
import csv

#row14 - Atmosfääri pikalainelise kiirguse suhteline viga
#row16 - Maapinna pikalainelise kiirguse suhteline viga
#row17 - Temperatuur

def dataconv(s):
    a = s.split(',')
    if len(a) > 1:
        return float(a[0] + '.' + a[1])
    else:
        return float(a[0] + '.' + '00')

print('Aasta' + '\t' + 'Kuu' + '\t' + 'Päev' + '\t' + 'Kellaaeg' + '\t' + 'Suhteline viga' + '\t' + 'Temperatuur')

with open('t_rad.csv') as csvfile: # Andmete kirjutamine faili
    sisu = csv.reader(csvfile, delimiter=',', quotechar='"')
    next(sisu)
    for row in sisu:
        if dataconv(row[16]) > 0 and row[17] != '': #Määran piiri, millest suuremad vead uude faili kirjutatakse
            print(row[1] + '\t' + row[2] + '\t' + row[3] + '\t' + row[4] + '\t' + row[16] + '\t' + row[17])
```

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Annika Velt,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

NCEP-CFSR järelanalüüsimudeli kiirgusparameetrite valideerimine Tõravere  
mõõtmisandmetega,

mille juhendaja on Erko Jakobson,

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **16.05.2016**